

압축공기를 사용한 사출성형품의 싱크마크 저감 및 가스 벤팅에 관한 연구

이세호¹ · 이호상^{1,*}

한국교통대학교 항공기계설계학과^{1*}

Study on sink-mark reduction and gas venting of injection molded parts using compressed air

Se-Ho Lee¹ · Ho-Sang Lee^{1,*}

Dep. of Aeronautical & Mechanical Design Eng., Korea Nat'l Univ. of Transportation^{1,*}

(Received September 04, 2024 / Revised September 21, 2024 / Accepted September 30, 2024)

Abstract: Sink marks are a common defect that occurs due to differences in shrinkage in areas with significant thickness variations in injection-molded parts. In this paper, we investigated the reduction of sink marks and the improvement of gas venting in injection molding processes using External Gas Injection (EGI). A mold was designed with considerations for EGI core pins, O-ring grooves to prevent gas leakage, and ejector-pin sealing. The sink marks were then examined through a series of experiments. When the delay time for injecting compressed air was set to 2.2 seconds, the depth of the sink marks was minimized. However, when the delay time was either too short or too long, the depth of the sink marks increased. There was almost no difference in the depth of the sink marks at discharge pressures of 30 and 50 bar of compressed air, but the sink marks were significantly reduced at a discharge pressure of 70 bar. Under the conditions of a 2.2-second delay time and a supply pressure of 70 bar, the smallest depth, 0.594 μm , was observed when the supply time was between 6 and 7 seconds. This represents a reduction of approximately 94% compared to the sink mark depth of 10.078 μm observed with conventional injection molding. To verify the gas venting effect of compressed air injection, an experiment was conducted using non-dried PC. The silver streaks that appeared on the exterior of the molded part were completely eliminated when the air supply pressure was set to 20 bar. This indicates that by injecting compressed air into the mold cavity before injecting the resin, the appearance quality of the injection-molded part can be improved without the need to dry the resin in advance.

Key Words: Compressed Air, External Gas Injection, Gas Venting, Injection Molding, Sink Marks

1. 서론

싱크마크는 성형품의 두께차이가 큰 부분에서 수축이 크게 발생하여 국부적으로 함몰되는 현상을 말한다. 일반적으로 리브의 두께 및 형상을 변화시키고 사출성형 조건을 조절하여 어느 정도 감소시킬 수 있지만 여전히 외관품질 불량률의 주요 원인이 되고 있다^{1,2)}.

그동안 사출성형품의 싱크마크에 관한 많은 연구

가 진행되어 왔다. Shen 등³⁾은 싱크마크에 가장 영향이 큰 인자는 성형품 두께이고 그 다음으로 보압, 수지온도 및 금형온도인 것으로 보고하였다. Mathivanan 등⁴⁾은 실험에 기반한 통계 분석을 통해 게이트로부터의 리브 거리가 싱크마크에 가장 영향을 크게 미치는 것으로 보고하였다. Gruber 등⁵⁾은 사출성형 부품에서 발생하는 싱크마크의 시각적 인지도를 정량적으로 평가하기 위하여 머신 비전 시스템을 사용하였다. 연구결과에 따르면 보압을 높여 싱크마크를 시각적으로 제거할 수 있었으며, 개발된 머신 비전 시스템의 결과와도 잘 일치하였다. Tursi 및 Bistany⁶⁾와 Iyer 및 Ramani⁷⁾는 모두 금형 재료의 열전도도가 싱크마크에 상당한 영향을 미친

† 교신저자: lhs@ut.ac.kr

* 본 논문에 대한 저작권은 저자들에게 있으며 CC BY-NC-SA를 만족하는 조건으로 이용할 수 있습니다.

다는 것을 보고하였다.

싱크마크를 방지하기 위한 연구로서 리브 구조가 싱크마크에 미치는 영향에 관한 연구⁸⁾가 있으며, 한편으로는 PFP(Partial Frame Process)성형기술을 이용하여 저압의 공기로 싱크마크 문제를 해결하는 연구⁹⁾가 진행되었다. PFP 성형기술은 사출성형 공정에서 수지를 금형 안에 완전히 채운 뒤 저압의 공기를 이용하여 기포를 발생시키고, 수지의 체적수축을 기포의 성장에 의해 보상해주는 기술이다. 이러한 방식은 일반적인 사출성형에서 주로 발생하는 싱크마크 또는 휨 변형을 어느 정도 감소시킬 수 있고 높은 압력을 필요로 하지 않는다는 장점을 가지고 있다. 그러나 기포의 생성과 성장에 영향을 미치는 공기압에 대한 이해, 기포핵의 생성 및 초기 성장과정에 대한 이해를 돕기 위한 기포성장의 동력학에 대한 연구가 아직 미흡한 상황이다.

한편 내부 가스사출성형¹⁰⁻¹²⁾에서 개량된 새로운 공법으로서 외부 가스사출성형에 해당하는 EGI(External Gas Injection) 공법에 대한 연구가 수행되었다. EGI 공법은 공기를 100 bar 이상 압축하고 사출성형품 표면과 코어금형 사이에 압축된 공기를 주입하는 방법으로서 수지 냉각에 따른 체적수축에 맞게 공기 주입이 이루어진다. 내부 가스사출성형 방식과 달리 별도의 가스채널이 필요 없기 때문에 금형설계에 쉽게 적용할 수 있으며, 기존의 보압에 비해 공기 압력이 낮기 때문에 금형 변형 또는 성형품의 내부응력을 방지할 수 있는 장점이 있다.¹³⁻¹⁴⁾ Su 등¹⁵⁾은 사출성형 인장시험 샘플에 대해 외부 가스사출 공법을 적용하여 금형온도, 수지온도, 사출속도, 사출압력과 같은 공정 변수가 싱크마크에 미치는 영향을 고찰하였으며, 가스 압력을 높이는 것이 싱크마크를 감소시키는데 효과적임을 보고하였다. 또한 Chen 등¹⁶⁾은 외부 가스사출성형이 성형품 수축에 미치는 영향을 고찰하였으며, 가스에 의한 보압이 캐비티를 따라 균일한 압력분포를 제공하고 가스 압력과 보압시간을 적절하게 증가시키면 수축을 크게 줄일 수 있음을 보고하였다. 그리고 Jiang 등¹⁷⁾은 외부 가스사출에서 다양한 공정변수가 플라스틱 부품의 품질에 미치는 영향을 실험적으로 고찰했으며, 금형 및 수지온도, 가스 지연 시간, 가스 유지압력 및 시간이 성형품 수축에 영향을 미치는 주요 요인임을 보고하였다.

본 논문에서는 사출성형품의 싱크마크를 저감시

키기 위하여 EGI 공법을 적용하였으며, 이를 위해 EGI 에어 핀 설계, 가스누기 방지 오리링 홈 설계, 밀핀 실링 설계 등을 수행하였다. 추가적으로 가스 벤팅을 위한 에어 홀을 설계하였다. EGI 공법을 적용한 사출성형 실험을 통해 공기 주입 압력, 지연시간 등 압축공기 주입조건이 싱크마크에 미치는 영향을 고찰하였다.

다른 한편으로 싱크마크 뿐만 아니라 사출성형 제품 표면에 실버스트리크, 가스 자국 등 불량이 빈번하게 발생한다. 이를 해결하기 위하여 수지를 금형 안으로 사출하기 전에 압축공기를 캐비티 내부에 주입하고, 사출속도 제어에서 압력전환 직전에 가압을 배기하여 가스가 성형품 표면에 나타나는 것을 방지할 수 있도록 하였다.

2. 적용대상 및 금형설계

2.1. 적용대상

성형면적이 300 x 100 mm이며, 좌우 모서리에 R50 mm의 곡률이 있고, Fig. 1과 같이 중앙을 기준으로 양쪽에 대칭으로 리브가 설치되어 있는 성형품을 적용대상으로 하였다.

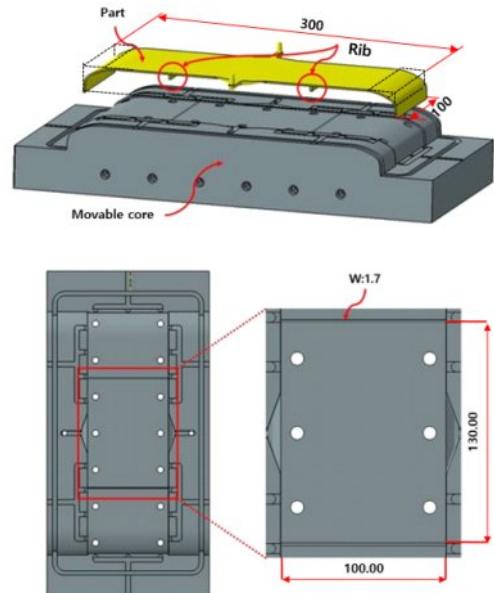


Fig. 1 Plastic part with ribs and movable core

Fig. 2는 리브의 세부 치수를 나타낸 것이다. 높이 4.5 mm, 뿌리두께 3.45 mm, 빼기구배 2°이고, 이

때 리브의 두께가 성형품의 바닥두께인 1.5 mm를 초과하기 때문에 싱크마크가 발생하는 구조를 가지고 있다.

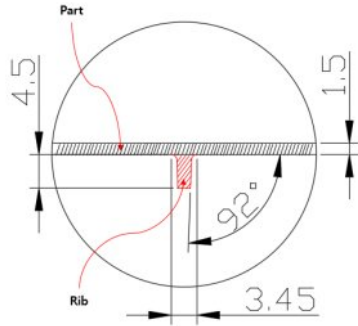


Fig. 2 Detailed dimensions of rib

2.2. 압축공기 적용을 위한 금형설계

싱크마크를 방지하기 위하여 수지를 금형 안으로 주입한 이후 압축공기를 이용하여 수지가 고화하기 전에 스킨층을 가압하도록 하였다. Fig. 3은 리브가 설치된 부분의 수지 스킨층을 가압하기 위한 압축공기의 흐름 방향과 주요 금형부품을 나타낸 것이다.

압축공기를 사용한 EGI 공법을 적용하기 위하여 EGI 코어 핀 설계, 공기 누설방지 오링 홈 설계, 밀핀 실링 설계 등이 중요하다. 또한 성형품 표면에 가스 자국이 발생하지 않도록 하는 가스 벤팅을 위하여 에어 채널설계가 필수적이다.

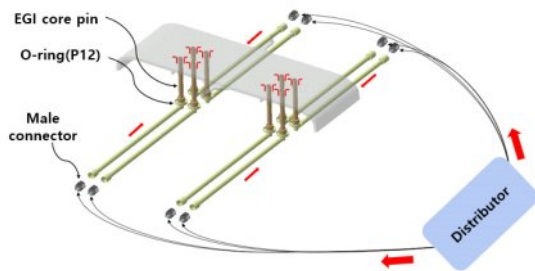


Fig. 3 Flow direction of compressed air

2.2.1 EGI 코어 핀 설계

EGI 코어 핀은 금형 캐비티 안으로 충전된 수지의 스킨층에 압축공기를 전달하는 역할을 한다. Fig. 4는 EGI 코어 핀을 나타낸 것으로 끝부분 3.5 mm 영역에서 원형 핀의 4면을 깊이 0.05 mm만큼 길이 방향으로 평면 가공하여 틈을 형성시켰다. 또한 중간부분 45

mm 영역에서 2면을 깊이 0.5 mm만큼 길이 방향으로 평면 가공하여 틈을 형성시켰다. 이러한 틈을 통해 압축공기가 수지의 배면 부분까지 주입될 수 있도록 하였다.

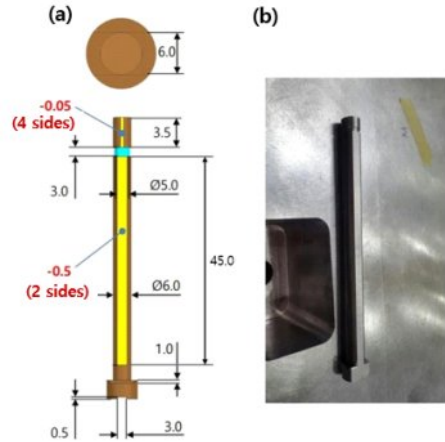


Fig. 4 EGI core pin: (a) pin design, (b) machined pin

Fig. 5에서 도시한 바와 같이 리브 주위 8개 지점에 EGI 코어 핀을 설치하였다. 금형 코어 두께를 고려하여 직경 Ø6 mm인 코어 핀의 길이를 63.5 mm로 하였으며, 리브와 핀 사이의 거리를 9.97 mm, 그리고 핀과 핀 사이의 거리를 30 mm로 설계하였다.

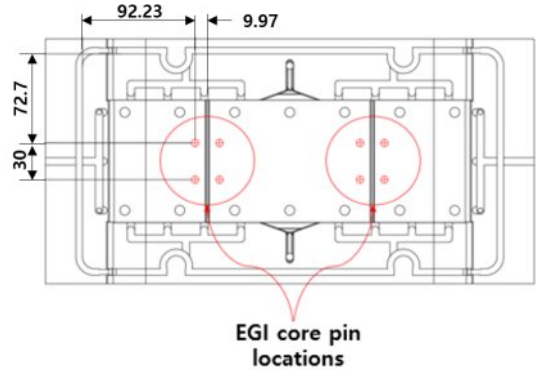


Fig. 5 Locations of EGI core pins

2.2.2 공기 누설방지 오링 홈 설계

형폐 상태에서 금형 안으로 주입된 압축공기가 다시 새어 나가지 않도록 가동축 코어의 성형품 외곽 부분에 누설 방지용 오링을 설치하였다. Ø5.5 mm인 줄 오링을 설치하기 위하여 Fig. 6에서 도시한 바와 같이 350.15 x 186.15 mm의 영역을 둘러싼 외곽 부분에 사각단면 형상의 홈을 설계하였다. 특히 곡률이 존재하

는 성형품의 모서리 부분에서는 금형에 단이 존재하여 오링이 정확히 안착되지 어렵기 때문에 홈의 단면 형상을 사다리꼴로 설계하여 오링의 체결력을 증가시켰다. 또한 Fig. 7과 같이 고정측 금형의 볼트 구멍을 고려하여 이동측 금형의 오링 홈을 안쪽 반원형으로 설계하였다.

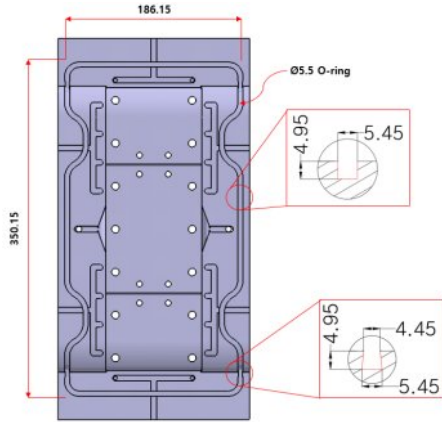


Fig. 6 Design of O-ring groove

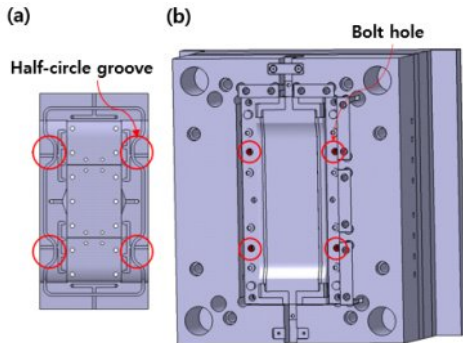
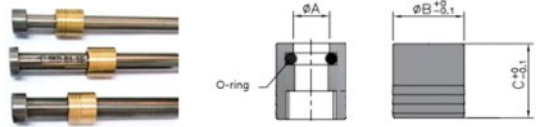


Fig. 7 Mold design for O-ring groove: (a) movable mold with half-circle groove, (b) stationary mold with bolt holes

2.2.3 밀핀 실링 설계

금형 캐비티 안으로 충전된 수지 배면 부에 압축공기를 주입하고, 수지 스킨층을 가압하기 위해 코어 금형의 밀핀 위치에서 공기의 누설을 방지하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 밀핀에 셸 플러그(Seal plug)를 설치하였으며, 이때 셸 플러그는 밀핀의 직경에 맞춰 제작되고, 내부에 설치된 오링에 의해 공기의 누출을 방지하도록 하였다. 코어 금형의 경우 게이트 위치에서 직경 6 mm인 밀핀 2개, 성형품 위치에

서 직경 8 mm인 밀핀 14개가 설치되어 있다. 따라서 Fig. 8에서 밀핀 직경 A를 기준으로 각각 Ø6와 Ø8 셸 플러그를 사용하였다.



Type No	A	B	C
1	6	12	12
2	8	14	16

Fig. 8 Seal plug

코어 금형의 밀핀 위치에 셸 플러그를 설치하기 위하여 Fig. 9와 같이 게이트 밀핀 위치의 코어 하단부에는 Ø12 mm, 높이 12 mm를 갖는 홈을 설계하고, 성형품부 밀핀 위치의 코어 하단부에는 Ø14 mm, 높이 16 mm를 갖는 홈을 설계하였다. 또한 셸 플러그 결합되는 홈에 +0.03mm의 공차를 주어 - 공차를 갖는 셸 플러그가 결합될 수 있도록 설계하였다.

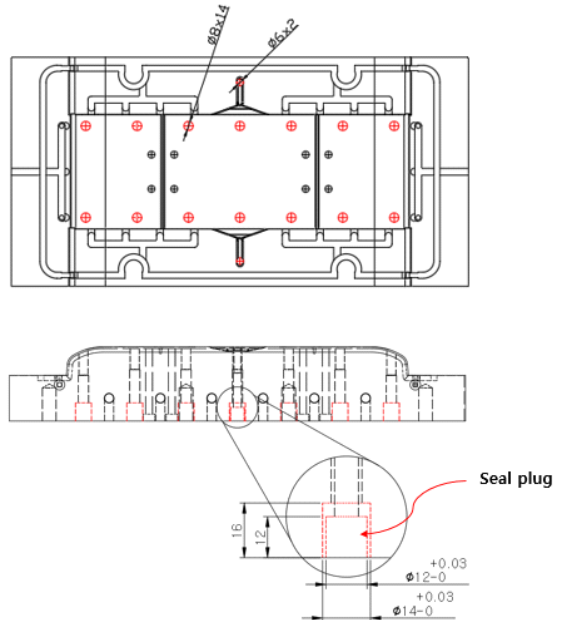


Fig. 9 Core design for seal plugs

2.2.4 가스 벤팅을 위한 에어 채널 설계

용융된 수지를 사출하기 전에 압축공기를 금형 캐비티 내부로 주입하고, 충전단계에서 금형 캐비티 안

으로 주입된 수지가 미리 채워져 있는 압축공기에 의해 가압되고, 수지 안에 포함된 수분, 가스 등이 압축공기와 함께 밖으로 배출되도록 하여 가스 벤팅이 이뤄지도록 하였다. 금형 캐비티 내부에 압축공기를 완전히 채우기 위하여 Fig. 10에서 도시한 바와 같이 에어 채널을 설계하였다. 압축공기를 주입하기 위한 에어 채널은 직경 4 mm, 길이 63 mm(금형 폭 방향 57 mm, 두께방향 6 mm)이며, 에어벤트가 위치한 4개소에 각각 설치되도록 하였다. 압축공기 공급장치를 통해 분사된 공기는 코어 금형 양쪽의 PT1/8 탭을 통해 에어 채널로 흘러 들어가며, 0.2 mm 깊이의 작은 에어벤트를 통해 금형 캐비티를 완전히 채우고, 이후 1차 사출단계에서 압축공기가 배기되도록 하였다.

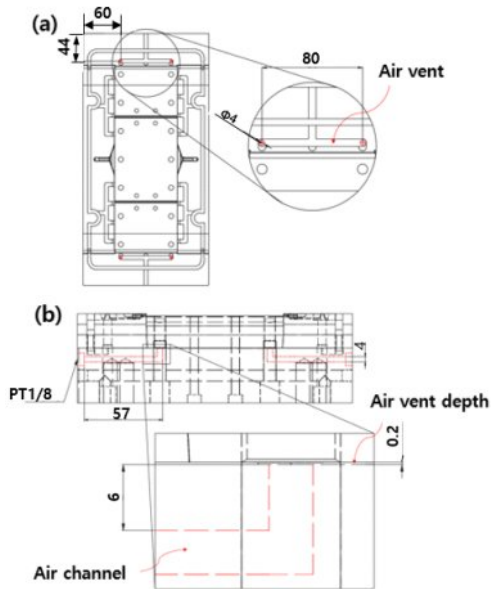


Fig. 10 Air channel: (a) location of air vent, (b) air channel design

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 실험장치 및 금형

Fig. 11은 공기를 압축하고, 압축된 공기를 금형 캐비티 안으로 공급하는 시스템을 나타낸다. 부스터를 사용하여 공기를 최대 110 bar 까지 압축하고 10리터 용량의 탱크에 저장되며, 솔레노이드 밸브를 사용하여 공급압력, 공급시간 등을 제어하면서 최대 3개의 라인으로 각각 공급할 수 있도록 하였다.



Fig. 11 Compressed air supply device

고정측 금형과 가동측 금형의 조립도는 Fig. 12와 같으며, 금형 코어와 함께 EGI 코어핀 및 오링 그루브가 장착된 가동측 금형을 Fig. 13과 같이 제작하였다.

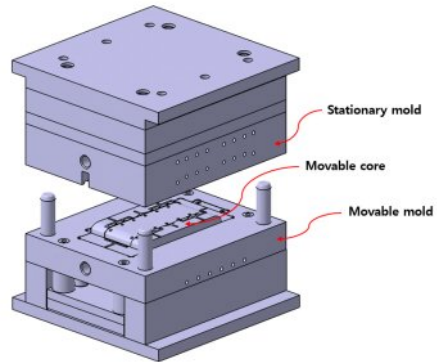


Fig. 12 Assembled view of stationary and movable mold



Fig. 13 Movable mold with EGI core pin and O-ring groove

Fig. 14는 고정측 금형과 가동측 금형을 사출성형기에 설치한 상태를 나타낸 것이다. 고정측 금형에 히트 카트리지를 설치하고, 가열된 상측 금형의 열이 형폐후 열전달에 의해 하측 금형으로 최대온도 140°C

까지 전달되도록 하였다. 한편 가동측 금형에는 압축공기를 주입하여 EGI 코어 핀을 통해 공기가 토출되도록 하였다.

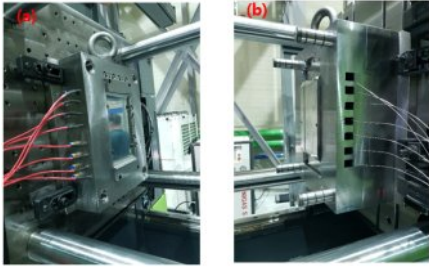


Fig. 14 Photograph of (a) stationary mold and (b) movable mold

3.2 싱크마크

3.2.1 성형조건 및 싱크마크 측정 방법

EGI 공법을 적용한 사출성형이 싱크마크에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 진동식 사출성형기(EM740/280 pro premium, ENGEL)를 사용하였으며, 수지온도 270℃, 사출속도 90 mm/s, 충전시간 0.31초, 보압시간 1.5초의 성형조건을 적용하였다. 이때 사용한 수지는 PBT(LUPOX TE5000G, LG chemical)이다. 사출성형 이후에 발생하는 싱크마크의 깊이를 측정하기 위하여 비접촉식 백색광 주사 간섭계(White Light Interferometry)를 이용하여 분해능(0.1 nm)이 높은 3차원 표면 측정기(Zeage Pro, Zygo Corp)를 사용하였다. 싱크마크 깊이의 측정 위치를 정하기 위하여 일반 사출성형에 의한 시제품을 대상으로 Fig. 15와 같이 리브가 설치된 끝단으로부터 10~40 mm 구간을 10 mm단위로 싱크마크 깊이를 측정하였으며, 이때 각 지점에서의 측정 영역을 4 mm로 설정하였다.

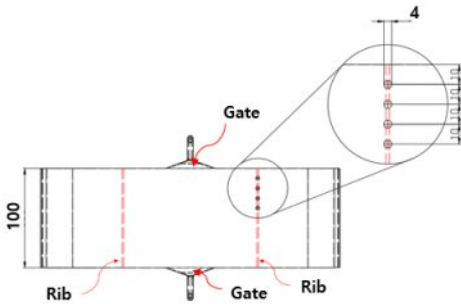
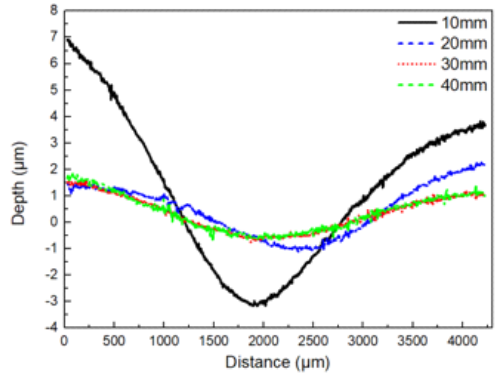


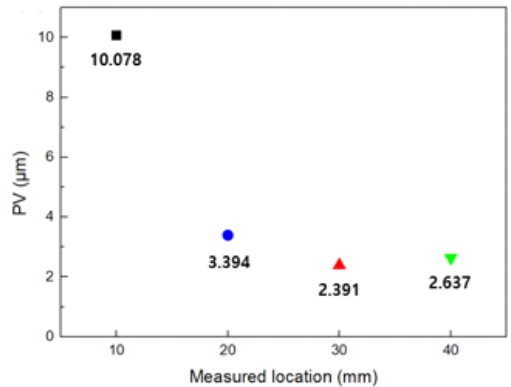
Fig. 15 Measuring points for sink-mark depth

Fig. 16(a)은 각 지점에 대해 4 mm영역에서의 표면 프로파일을 나타낸 것이며, Fig. 16(b)는 각 지점에서

의 PV(Peak-to-Valley)값을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 PV값을 싱크마크의 깊이로 정의하였으며, 리브가 설치된 끝단으로부터 10 mm지점에서 싱크마크 깊이가 10.078 μm 로 가장 큰 것으로 나타났다. 그 원인은 Fig. 15에서 도시된 바와 같이 2개의 게이트를 사용하여 수지가 양쪽에서 동시에 주입되기 때문에 중앙부위에 비해 가장자리에서 싱크마크가 더욱 크게 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 EGI 공법을 적용한 성형품도 동일하게 리브가 설치된 끝단으로부터 10 mm지점에서의 싱크마크 깊이를 측정하였다.



(a) Surface profile along the distance at each location



(b) PV value at each location

Fig. 16 Depth of sink mark

3.2.2 지연시간이 싱크마크에 미치는 영향

압축공기를 주입하기 위한 지연시간이 싱크마크에 미치는 영향을 고찰하였다. 본 실험에서 지연시간은 사출기의 사출시작 신호에 맞춰지기 때문에 충전시간과 보압시간을 합친 값보다 커야한다. 따라서 사출 및 보압 공정이 끝나는 시간은 사출 시작 시간으로부

터 약 1.81초이며, 이를 고려하여 지연시간을 2초부터 설정하였다. 압축공기의 공급압력을 70 bar, 공급시간을 5초로 고정하였으며, 지연시간을 2초, 2.2초, 2.4초로 변경하면서 실험을 수행하였다. 각각의 성형품에 대해 싱크마크의 깊이를 측정하였으며, EGI 공법을 적용하지 않은 일반 사출성형품의 싱크마크 깊이와 비교하였다.

Fig. 17은 지연시간에 따른 싱크마크의 깊이를 나타낸 것이다. 지연시간 2.2초일 때 싱크마크의 깊이는 1.465 μm 로서 가장 작으며, 지연시간이 너무 짧거나 길 경우에는 깊이가 증가하는 것으로 나타났다. 지연시간이 지나치게 짧을 경우 수지 고화층이 형성되지 않은 상태에서 주입된 공기가 수지와 급형 틈으로 새어나가기 때문에 판단된다. 반대로 지연시간이 지나치게 긴 경우에는 이미 수지가 너무 고화된 상태이며 주입된 압축공기가 수지를 제대로 밀어내지 못하기 때문에 판단된다.

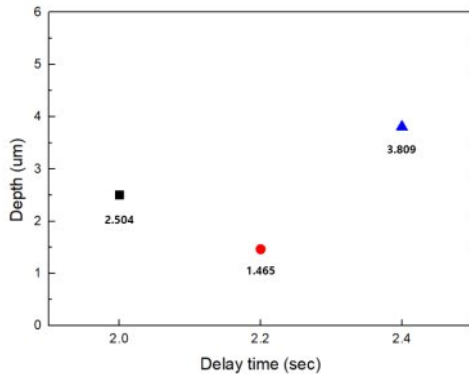


Fig. 17 Depth of sink-mark according to delay time

3.2.3 토출 압력 및 시간이 싱크마크에 미치는 영향

압축공기를 주입하기 위한 지연시간을 2.2초로 고정하고, 압축공기의 토출압력 및 주입시간이 싱크마크에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. Fig. 18은 토출압력 및 시간에 따른 싱크마크 깊이를 나타낸 것이다. 토출압력이 30 bar와 50 bar로 낮을 경우 싱크마크의 깊이 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 반면에 70 bar의 토출압력에서는 싱크마크 깊이가 크게 감소하였으며, 공급시간 5초 부분에서 싱크마크 깊이는 1.089 μm 로 나타났다. 공급시간이 증가할수록 오히려 싱크마크 깊이가 증가하는 추세를 보이는데, 이는 공급시간이 지나치게 길 경우 상온 상태의 압축공기가

수지를 빠르게 냉각시키고, 이로 인해 압축 공기가 고화된 수지를 제대로 밀어내지 못하기 때문에 판단된다. 결론적으로 지연시간 2.2초, 공급압력 70 bar, 공급시간 5초일 때 싱크마크 깊이가 1.089 μm 이며, 이는 일반 사출성형에서의 깊이 10.078 μm 에 비해 약 1/10로 크게 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

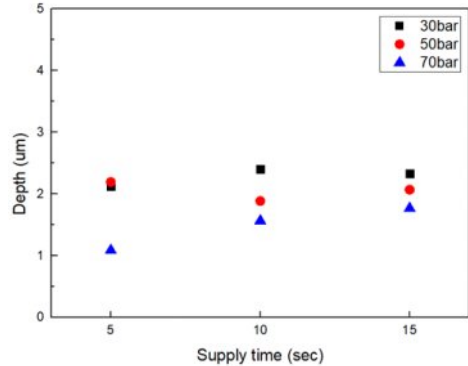


Fig. 18 Depth of sink-mark according to discharge pressure and supply time

앞에서 고찰한 바와 같이 공급시간 5초에서 싱크마크 깊이가 가장 작은 것으로 나타났다. 그러나 1~10초 사이의 공급시간에서 싱크마크 깊이를 더욱 감소시킬 수 있는 최적의 공급시간이 존재할 것으로 예상되어, 추가적인 실험을 진행하였다.

Fig. 19는 지연시간 2.2초, 공급압력 70 bar의 동일한 조건으로 고정한 상태에서 공급시간을 1~10초 구간에서 변경하며 싱크마크의 깊이를 측정된 결과를 나타낸다. 공급시간 6~7초에서 싱크마크 깊이가 0.594 μm 로 가장 작은 것으로 나타났으며, 일반 사출성형에서의 깊이 10.078 μm 에 비해 약 94% 감소하였음을 알 수 있다.

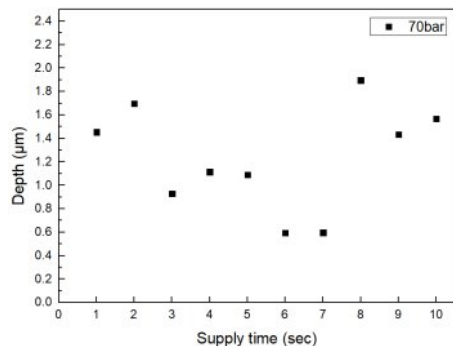


Fig. 19 Depth of sink-mark depending on supply time from 1 to 10 sec under delay time of 2.2 sec

공급시간 7초 이상에서는 앞에서 기술한 바와 같이 수지의 냉각효과로 인해 싱크마크 깊이가 증가하고, 반대로 공급시간이 너무 짧은 경우에는 압축공기가 싱크마크 발생부위를 충분히 밀어주지 못하기 때문에 싱크마크 깊이가 증가하는 것으로 판단된다. 따라서 수지의 열전달 특성을 고려해 최적의 공급시간을 도출하는 것이 싱크마크를 줄이는데 중요한 조건임을 알 수 있다.

앞에서 도출한 바와 같이 EGI 공법에서 최적의 공정 조건은 지연시간 2.2초, 토출 압력 70 bar, 공급시간 6 초로 나타났으며, 이를 적용한 성형품의 외관과 일반 사출성형에 의한 외관을 비교하였다. Fig. 20(a)와 같이 일반 사출성형에 의한 성형품의 경우 육안으로 쉽게 확인할 수 있을 정도로 싱크마크가 크게 발생하였으나, EGI 공법을 적용한 Fig. 20(b)의 경우 싱크마크가 거의 발생하지 않고 있음을 알 수 있다.

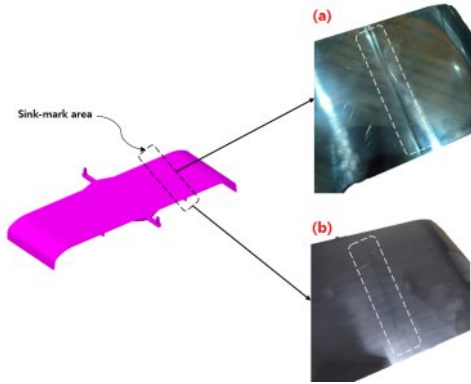


Fig. 20 Injection molded part: (a) without EGI, (b) with EGI under delay time of 2.2 sec, discharge pressure of 70 bar and supply time of 6 sec

3.3 가스 벤팅

가스 벤팅 효과를 명확히 확인하기 위하여 건조하지 않은 PC(LUPOY GP1006FM, LG chemical) 수지를 사용하였다. 또한 수지온도 280℃, 사출속도 90 mm/s, 충전시간 0.27초, 보압시간 2.5초, 냉각시간 40초의 성형조건을 적용하였다.

사출성형 이전에 캐비티 안으로 압축공기를 주입하기 위한 압력을 변경하면서 가스 벤팅 효과를 고찰하였다. Fig. 21은 압축공기의 주입압력에 따른 사출성형품의 표면 상태를 나타낸 것이다. 0 bar의 경우 압축공기를 주입하지 않은 제품이며, 성형품 표면에 실버스트리크가 심하게 발생한 것을 확인할 수 있다.

압축공기의 주입압력을 10~70 bar로 변경하며 실험을 진행하였고, 주입시간의 경우 금형이 형폐된 이후 사출이 시작되는 시간까지 약 3초임을 고려하여 주입시간을 3초로 고정하였다. 주입압력 10 bar의 경우 가스 벤팅을 적용하지 않은 성형품에 비해 실버스트리크가 상당히 감소되었음을 확인할 수 있다. 또한 주입압력 20 bar 이상의 성형품에서는 표면에 실버스트리크가 전혀 발생하지 않았으며, 그 이상의 압력증가에 따른 외관 차이는 거의 나타나지 않았다. 결론적으로 주입압력 20 bar일 때, 성형품 표면에 발생하는 실버스트리크를 완전히 제거할 수 있었다. 따라서 수지를 사출하기 전에 금형 캐비티 안으로 압축공기를 주입함으로써 효과적인 가스 벤팅이 가능하며, 사전에 수지를 건조하지 않고도 사출성형품의 외관 품질을 높일 수 있음을 알 수 있다.

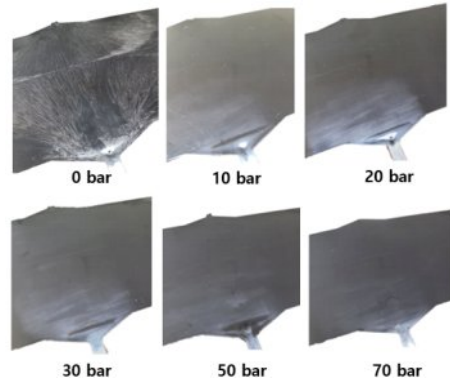


Fig. 21 Surface appearance under various discharge pressure

4. 결론

압축공기를 이용한 EGI 공법을 사용하여 사출성형품 표면의 싱크마크 저감과 가스 벤팅 효과에 대하여 고찰하였다. 좌우 모서리에서 고 곡률을 갖고 있으며, 중앙을 기준으로 양쪽에 대칭으로 리브가 설치되어 있는 성형품을 적용대상으로 하여 EGI 코어 핀, 가스누기 방지 오링 홈, 밀핀 실링 등을 고려한 금형을 설계, 제작하고, 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 압축공기를 주입하기 위한 지연시간이 2.2초일 때 싱크마크의 깊이가 가장 작으며, 지연시간이 너무 짧거나 길 경우에는 반대로 싱크마크 깊이가 증가하는 것으로 나타났다.

2) 압축공기의 토출압력이 30 bar와 50 bar로 낮을 경우 싱크마크의 깊이 변화가 크지 않았으며, 70 bar의 토출압력에서는 싱크마크 깊이가 크게 감소하였다.

3) 압축공기를 주입하는 공급시간이 5초일 때 싱크마크 깊이는 1.089 μm 로 나타났으며, 공급시간이 증가할수록 오히려 싱크마크 깊이가 증가하였다.

4) 지연시간 2.2초, 공급압력은 70 bar로 동일한 조건에서 공급시간을 1초에서 10초까지 변경하며 싱크마크의 깊이를 측정된 결과 공급시간 6~7초에서 싱크마크 깊이가 0.594 μm 로 가장 작은 것으로 나타났으며, 일반 사출성형을 적용한 경우의 싱크마크 깊이 10.078 μm 에 비해 약 94% 감소함을 알 수 있었다.

5) 일반 사출성형에 의한 성형품의 경우 육안으로 쉽게 확인할 수 있을 정도로 싱크마크가 크게 발생하였으나, EGI 공법을 적용한 최적의 공정조건(지연시간 2.2초, 토출 압력 70 bar, 공급시간 6초)에서

는 싱크마크가 거의 발생하지 않고 있음을 알 수 있었다.

6) 압축공기 주입에 의한 가스 벤딩 효과를 확인하기 위하여 건조하지 않은 PC를 사용하여 실험한 결과 주입압력 20 bar일 때 성형품 표면에 발생하는 실버스트리크를 완전히 제거할 수 있었으며, 이를 통해 수지를 사출하기 전에 금형 캐비티 안으로 압축공기를 주입함으로써 사전에 수지를 건조하지 않고도 사출성형품의 외관 품질을 높일 수 있음을 알 수 있었다.

7) EGI 공법을 활용하여 싱크마크를 효과적으로 줄이기 위하여 다양한 수지의 열전달 특성을 고려한 최적의 공급시간 도출에 관한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

후기

본 연구는 2024년 한국교통대학교 산학협력단 지원을 받아 수행하였음

참고문헌

- 1) Chang, R. Y. and Tsaur, B. D., "Experimental and theoretical studies of shrinkage, warpage, and sink mark of crystalline polymer injection molded parts," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 35, No. 15, pp. 1222-1230, 1995.
- 2) Kim, D.-E. and Lee, C.-K., "A study on the reduction method of sink marks for plastic products with T-shape," *J. Korea Society of Die & Mold Engineering*, Vol. 12, No. 2, pp. 22-26, 2018.
- 3) Shen, C. Y., Wang, L. X., Cao, W. and Qian, L., "Investigation of the effect of molding variables on sink marks of plastic injection molded parts using Taguchi DOE technique," *Polym-Plast Technol Eng*, Vol. 46, pp. 219-225, 2007.
- 4) Mathivanan, D. and Parthasarathy, N. S., "Prediction of sink depths using nonlinear modeling of injection molding variables," *Int J Adv Manuf*

Technol, Vol. 43, pp. 654-663, 2009.

- 5) Gruber, D. P., Berger, G., Pacher, G. and Friesenbichler, W., "Novel approach to the measurement of the visual perceptibility of sink marks on injection molding parts," *Polym Testing*, Vol. 30, pp. 651-656, 2011.
- 6) Tursi, D. and Bistany, S. P., "Process and tooling factors affecting sink marks for amorphous and crystalline resins," *J. Inject. Molding Technol.*, Vol. 4, pp. 114-119, 2000.
- 7) Iyer, N. and Ramani, K., "A study of localized shrinkage in injection molding with high thermal conductivity molds," *J. Inject. Molding Technol.*, Vol. 6, pp. 73-90, 2002.
- 8) Nakayama, K., Komoda, M. and Motoichi, Y., "Optimization of rib design and possibilities of weight reduction for ABS molding," *Annual Tech. Conf., Society of Plastic Engineers 41st Published by SPE*, pp. 690-693, 1983.
- 9) An, K. H., "Analysis of the void growth mechanism in partial frame process," *The Korean Society of Rheology*, Vol. 9, No. 2, pp. 60-65, 1997.
- 10) Lee, H. S., 2001, "A Study on the unified molding for a box shaped thick part using gas-assisted injection molding," *Transactions of*

Materials Processing, Vol. 10, No. 5, pp. 402-410, 2001.

- 11) Kim, H. S. and Lee, D. K., "A case study on development of automotive interior parts using gas assisted injection molding process," Transactions of Materials Processing, Vol. 14, No. 5, pp. 452-459, 2005.
- 12) Kang, S. H., Woo, C. K. and Kim, O. R., "Research on gas injection mold using CAE analysis of steering wheel parts," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 16, No. 11, pp. 7729-7735, 2015.
- 13) Mapleston, P., "External gas new variant of low-pressure injection", Mod. Plast., Vol. 71, pp. 23-25, 1994.
- 14) Osswald, T. A., Turng, L. and Gramann, P. J., Injection Molding Handbook, Carl Hanser Publishers, Munich, 2001.
- 15) Su, H.-Y., Nian, S.-C. and Huang, M.-S., "Reducing ghost marks in injection-molded plastic parts by using external gas-assisted holding pressure," Inter. Comm. in Heat and Mass Transfer, Vol. 66, pp. 1-10, 2015.
- 16) Chen, S. C., Lin, Y. C. and Huang, S. W., "Study on the packing effects of external gas-assisted injection molding on part shrinkage in comparison with conventional injection molding," Polym. Eng. Sci., Vol. 50, NO. 11, pp. 2085-2092, 2010.
- 17) Jiang, S., Zheng, W., Zhang J. and Li, J., "Experimental study on the influence of parameters on the plastic parts quality of external gas-assisted injection molding", Appl. Math. Inf. Sci., Vol. 6, pp. 665-671, 2012.

저자 소개

이 세 호(Se-Ho Lee)

[학생회원]



- 2023년 2월 : 한국교통대학교 항공기계설계학과 (공학석사)
- 2023년 3월~현재: 한국교통대학교 항공기계설계학과 대학원

< 관심분야 >
사출성형 및 금형

이 호 상(Ho-Sang Lee)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 1989년 1월~1995년 2월 : LG전자 생산기술원, 책임연구원
- 1995년 3월~1996년 7월 : 고등기술연구원, 책임연구원
- 1996년 8월~현재: 한국교통대학교 항공기계설계학과, 교수

< 관심분야 >
사출성형 및 금형, CAE해석